

# VU Research Portal

## Why muscles matter

van der Zwaard, S.

2018

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

van der Zwaard, S. (2018). *Why muscles matter: Optimizing sprint and endurance performance in athletes*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

N

Nederlandse samenvatting  
(Dutch summary)

## Nederlandse samenvatting

Hoe bereiken topsporters hun exceptionele prestatie? Een vraag die gemakkelijk is gesteld, maar des te moeilijker om te beantwoorden. Om te begrijpen wat een topsporter een kampioen maakt, hebben we de fysiologische determinanten van fysieke prestatie bestudeerd en geïmplementeerd in nieuwe trainingsstrategieën voor het verbeteren van de fysieke prestatie. Waar fysieke prestatie veelal wordt onderscheiden in duur- of sprintprestatie, vergen de meeste sporten juist een combinatie van zowel sprint als duur (zoals wielrennen, roeien, hockey en schaatsen). Tot op heden zijn de kritische fysiologische determinanten voor het behalen van zowel een hoge sprint én duurprestatie onbekend. Daarbij is het maximaliseren van (gecombineerde) sprint en duurprestatie complex, omdat de fysiologische determinanten op meerdere biologische niveaus bestaan, die met elkaar interacteren, en omdat (determinanten van) sprint en duurprestatie elkaar tegenwerken.

In deze dissertatie focussen we op topsporters die hun fysieke prestatie zo goed als mogelijk hebben geoptimaliseerd. Om te begrijpen wat een topsporter zo goed maakt, hebben we 1) gewerkt aan technologische ontwikkelingen om de fysiologische determinanten van de spier op een niet-invasieve manier in kaart te kunnen brengen, 2) de kritische fysiologische determinanten van de fysieke prestatie achterhaalt door middel van een gedetailleerd fysiologisch profiel van de topsporters, en 3) spieradaptaties gemeten als gevolg van een trainingsstrategie die gunstig is voor het verbeteren van zowel sprint als duureigenschappen.

## Technologie

Niet-invasieve technieken kunnen bruikbaar zijn voor het geavanceerd monitoren van trainingsadaptaties en voor het in kaart brengen van spiereigenschappen die bepalend zijn voor de fysieke prestatie.

NIRS geeft een niet-invasieve maat voor de balans tussen zuurstoftoevoer en zuurstofopname in de spier. In **Hoofdstuk 2** hebben we getracht de inspanningsintensiteit te detecteren waar er een mismatch is tussen zuurstofvraag en zuurstofaanbod, door de  $\Delta[\text{O}_2\text{HbMb}-\text{HHbMb}]$  drempel te bepalen in 40 proefpersonen (waaronder getrainde vrouwelijke wielrenners, getrainde mannelijke wielrenners, mannelijke duursporters en recreatief getrainde mannen). Daarnaast hebben we de reproduceerbaarheid van NIRS signalen en inspanningsdrempels bepaald en het verstorende effect van huidploidikte op NIRS signalen gemeten. De  $\Delta[\text{O}_2\text{HbMb}-\text{HHbMb}]$  drempel is reproduceerbaar en potentieel een geschikte drempel om aan te geven wanneer de anaerobe energieproductie in de spier start. Echter, de continuous-wave NIRS metingen worden ook sterk beïnvloed door de huidploidikte. De eerste ventilatiedrempel, een meer indirecte maat voor deze veranderingen in energiestatus in de spier, maakt beter onderscheid tussen geslacht en trainingsstatus, was beter reproduceerbaar en werd niet beïnvloed door huidploidikte. Daarom verdient de eerste ventilatiedrempel momenteel de voorkeur, echter, wanneer effecten van huidploidikte op NIRS metingen afgezwakt of gecorrigeerd kunnen worden, dan kan de NIRS een waardevolle tool zijn voor het in kaart brengen van de balans tussen zuurstofvraag en aanbod, met een heel praktisch gebruik op het gebied van sport en revalidatie.

Spiervolume en spierarchitectuur kunnen niet-invasief in kaart gebracht worden met behulp van 3D echografie technieken. Deze benaderingen zijn vaak lastig bruikbaar, tijdrovend en technisch gelimiteerd (slechts kleine gedeeltes van grote spieren kunnen in kaart gebracht worden). In **Hoofdstuk 3** laten we zien dat met onze modificaties van de 3D echografie techniek,

er substantiële verbeteringen gemaakt konden worden op gebied van verwerkingssnelheid (~99%) en de grootte van het reconstructiegebied, zo dat ook grote spieren (zoals de VL) gemeten konden worden. We hebben laten zien dat de 3D echografie techniek reproduceerbare en valide metingen geeft van spiermorphologie ( $r > 0.98$ ), terwijl deze techniek niet zo duur, tijdrovend en ruimtelijk beperkt is als Magnetic Resonance Imaging (MRI). Daarom is de 3D echografie techniek een kost-effectief alternatief voor de MRI, en geschikt voor het in kaart brengen van (trainingsadaptaties van) spiervolume en spierarchitectuur zowel in de kliniek als ook in de sport.

### Physiologisch profiel

Om beter te begrijpen hoe topsporters tot hun exceptionele prestatie komen, hebben we belangrijke fysiologische determinanten van fysieke prestatie achterhaalt en gemeten hoeveel van de variatie in prestatie deze determinanten verklaren.

In het roeien moeten atleten een hoog sprint- en duurvermogen combineren. Het meten van spiereigenschappen, zoals de spiermorphologie van de knie-extensoren in roeiers, kan inzicht geven in hoe topsporters tegelijk een hoge sprint- en duurcapaciteit kunnen combineren. Toch is er weinig bekend over de spiermorphologie van roeiers en hoe deze relateert aan maten van roeiprestatie. In **Hoofdstuk 4** hebben we de 3D echografie techniek gebruikt om te bepalen hoe de spiermorphologie van de m. vastus lateralis relateert aan 2000-m roeiprestatie op de ergometer, sprintcapaciteit en duurcapaciteit in Olympische roeiers. Spiervolume verklaart een groot deel van de variantie in 2000-m ergometer prestatie ( $r^2 = 0.85$ ,  $p < 0.001$ ), maximale zuurstofopname ( $r^2 = 0.65$ ,  $p < 0.0001$ ), en Wingate piekvermogen ( $PO_{peak}$ ;  $r^2 = 0.82$ ,  $p < 0.001$ ), wat suggereert dat roeiatleten het beste hun (vastus lateralis) spiervolume kunnen maximaliseren binnen de grenzen van hun gewichtsklasse. Wanneer resultaten zijn genormaliseerd voor verschillen in lichaamsgrootte, zien we dat  $\dot{V}O_{2max}$  en Wingate  $PO_{peak}$  negatief gerelateerd zijn aan elkaar in de groep mannelijke roeiers ( $r = -0.94$ ,  $p < 0.001$ ), wat aangeeft dat het maximaliseren van beide capaciteiten een behoorlijke uitdaging kan zijn. De genormaliseerde duurcapaciteit was niet negatief gerelateerd aan PCSA, een onverwachte bevinding, omdat een kleinere spiervezeldiameter een kortere diffusieafstand voor zuurstof naar de kern van de spiervezel impliceert, welke bijdraagt aan een hoog oxidatief metabolisme. De genormaliseerde sprintcapaciteit was positief gerelateerd aan spiervezellengte, maar niet aan PCSA, en daarom kunnen topsporters voordeel hebben bij lange spiervezels. Het zal nog uitgezocht moeten worden in welke mate de spiervezels functioneel verlengt kunnen worden met behulp van training.

Maximale zuurstofopname ( $\dot{V}O_{2max}$ ) is een maat voor cardiorespiratoire fitheid, welke breed wordt ingezet voor het meten van de effectiviteit van trainingsinterventies, maar welke ook kritisch is voor duurprestatie en het verlies van onafhankelijkheid en overlijden kan voorspellen.  $\dot{V}O_{2max}$  behaald tijdens lichamelijke inspanning is waarschijnlijk beperkt door de zuurstoftoevoer naar de mitochondriën in de spier, en niet door de capaciteit van de mitochondriën om zuurstof te consumeren. Toch zijn de limiterende factoren van de  $\dot{V}O_{2max}$  en de mate van limitaties nog niet geheel duidelijk. In **Hoofdstuk 5** hebben we bepaald in welke mate de  $\dot{V}O_{2max}$  behaald tijdens fietsinspanning afwijkt van de mitochondriële oxidatieve capaciteit berekend uit de SDH activiteit van de m. vastus lateralis in chronische hartpatiënten, gezonde controle proefpersonen en wielrenners. De resultaten laten zien dat SDH activiteit en mitochondriële oxidatieve capaciteit proportioneel gerelateerd zijn aan de  $\dot{V}O_{2max}$  gemeten tijdens fietsinspanning (respectievelijk  $r^2 = 0.81$ ,  $p < 0.001$  en  $r^2 = 0.89$ ,  $p < 0.001$ ) in de groep van chronische hartpatiënten, gezonde

ongetrainde proefpersonen en wielrenners (met een  $\dot{V}O_{2\max}$  tussen 9.8 en 79.0 mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>). Gemeten  $\dot{V}O_{2\max}$  is ~90% van de mitochondriële oxidatieve capaciteit, waarbij het verschil tussen beide verklaard kan worden door een gelimiteerde zuurstoftoevoer naar de mitochondriën. Deze mitochondriële oxidatieve overcapaciteit is substantieel lager dan eerder gerapporteerd met geïsoleerde of gepermeabiliseerde procedures. Voor toekomstig onderzoek en gebruik in de sport zou het interessant zijn om te bestuderen of het ademen van hyperoxische lucht in plaats van normoxische lucht resulteert in een hogere gemeten  $\dot{V}O_{2\max}$  tijdens lichamelijke inspanning. Als dit het geval is, dan zal de zuurstoftoevoer van de atleet zeer waarschijnlijk de beperkende factor zijn en de focus worden voor geïndividualiseerde (hoogte) trainingsinterventies.

Het optimaliseren van fysieke prestatie is een belangrijk doel in de huidige fysiologie. Begrip over het combineren van een hoge sprint en duurprestatie is momenteel beperkt, gezien de meeste onderzoeken focussen op determinanten van ofwel sprint ofwel duurprestatie, ook al is fysieke prestatie bijna nooit uitsluitend een sprint of duurprestatie. Daarnaast is het combineren van een hoge sprint- en duurprestatie complex, aangezien adaptaties voor duur en sprint elkaar tegenwerken, met name in de spier. In **Hoofdstuk 6** hebben we de kritische determinanten van sprint, duur en gecombineerde sprint en duurprestatie in kaart gebracht met behulp van correlatie en multiële regressieanalyses van fysiologische determinanten van meerdere biologische niveaus. Determinanten van prestatie zijn verkregen vanuit zuurstofopname, bloedafname, maximale kniestrekkingskracht, spierdoorbloeding, spiermorfologie en spiervezel histochemie van de m. vastus lateralis in 28 wielrenners (24 (inter)nationale sprinters, ploegenachtervolgers en wegwielrenners). Wanneer genormaliseerd voor verschillen in lichaamsgrootte, wordt de sprintprestatie verklaard door het percentage snelle spiervezels en spiervolume ( $R^2=0.65$   $p<0.001$ ), en wordt genormaliseerde duurprestatie verklaard door de zuurstofopname tijdens de duurprestatie en zuurstoftoevoer in het bloed (mean corpuscular hemoglobin concentration en spierdoorbloeding;  $R^2=0.92$   $p<0.001$ ). Genormaliseerde sprint- en duurprestatie waren tevens negatief gerelateerd ( $r=-0.66$ ,  $p<0.001$ ). Variatie in gecombineerde sprint- en duurprestatie werd verklaard door de (gross) efficiëntie, zuurstofopname tijdens de duurprestatie en waarschijnlijk door spiervolume en spiervezellengte (respectievelijk  $p=0.056$  en  $p=0.059$ ). Een hoge zuurstofopname tijdens de duurprestatie is gerelateerd aan hoge oxidatieve capaciteit, goede capillarisatie en myoglobine concentratie en kleine PCSA ( $R^2=0.67$   $p<0.001$ ). Deze resultaten suggereren dat in sporten als wielrennen, spiervezellengte en capillarisatie belangrijke targets voor training zijn voor het gelijktijdig optimaliseren van sprint en duurprestatie. Voor toekomstige toepassing kan het gedetailleerde fysiologisch profiel gebruikt worden om de voortgang van trainingsinterventies te monitoren en voor het weergeven van de atleet zijn fysiologische sterke en zwakke punten met betrekking tot zijn sportspecifieke discipline, welke belangrijk is voor talentontwikkeling en het ontwerpen van geïndividualiseerde trainingsstrategieën.

### Trainingsstrategie

Kritische determinanten van duur en piekvermogen werken elkaar tegen, met name in de spier. Dit is ook relevant voor teamsporten, waar herhaald sprintvermogen een belangrijke fitheidscomponent is en waarin maximale en bijna maximale sprints worden herhaald gedurende de wedstrijd. Teamsport atleten zoeken daarom ook trainingsstrategieën om tegelijkertijd de oxidatieve capaciteit, spiervezelgrootte en zuurstoftoevoer capaciteit (zoals eerder gesuggereerd) te vergroten en gelijktijdig te trainen voor het verbeteren van het sprintvermogen, welke nodig is

voor de maximale krachtsinspanningen, en oxidatieve capaciteit, welke nodig is voor een sneller herstel tussen de sprints. Een strategie om dit te bereiken is het trainen of leven in hypoxie, wat de zuurstofspanning verlaagt en een trigger geeft voor verbetering van de zuurstoftransportketen van de buitenlucht naar de mitochondriën. In **Hoofdstuk 7** onderzochten we spieradaptaties in oxidatieve capaciteit, spiervezelgrootte en zuurstoftoevoer capaciteit in teamsport atleten die het gevolg zijn van leven op hoogte gecombineerd met herhaalde sprinttraining in hypoxie of normoxie in vergelijking met het leven en trainen op zeeniveau. Elite laagland hockeyers verbleven op gesimuleerde hoogte ( $\geq 14$  uur per dag op 2800-3000 m) en voerden reguliere training uit met daarbij 6 herhaalde sprinttraining sessies in normobare hypoxie (3000 m; LHTLH;  $n=6$ ) of normoxie (0 m, LHTL;  $n=6$ ) of ze verbleven op zeeniveau met alleen reguliere training (LLTL;  $n=6$ ). Onze bevindingen laten zien dat elite teamsport atleten in LHTLH een substantiele verbetering lieten zien van de oxidatieve capaciteit in hun type I en type II vezels (respectievelijk +37% en +32%), met een behoud van spiervezelgrootte. Veranderingen in zuurstoftoevoer capaciteit (i.e. myoglobine en capillarisatie) was minder prominent en liet vooral kleine en gemiddelde effect groottes zien tussen de groepen. Een unieke observatie was dat LHTLH en LHTL de combinatie van spiervezelgrootte en oxidatieve capaciteit verbeterden, in tegenstelling tot LLTL. Daarom lijken LHTLH en LHTL adequate trainingsstrategieën voor het verbeteren van de combinatie van kritische spiervezeldeterminanten van piekvermogen en maximale zuurstofopname. Voor toekomstig onderzoek is het interessant om te bestuderen wat de trainingsadaptaties zijn van deze trainingsstrategieën in andere sporten of in combinatie met krachttraining.

Samenvattend geven deze hoofdstukken weer dat fysiologische determinanten relevant zijn om de verschillen in fysieke prestatie te kunnen begrijpen en dat fysiologische determinanten bestaan op verschillende biologische niveaus, die met elkaar interacteren. Omdat fysieke prestatie vrijwel nooit uitsluitend een sprint- of duurprestatie is, hebben we een maat voor gecombineerde sprint en duurprestatie geïntroduceerd. Met behulp van twee simpele inspanningstesten kan een topsporter gekarakteriseerd worden binnen het sprint-duur continuüm, en kan in kaart gebracht worden hoe goed de atleet in staat is om sprint- en duurprestatie te combineren. Het uitgebreide fysiologisch profiel bevat kritische determinanten van (gecombineerde) sprint en duurprestatie, welke dienen als targets voor training, en het profiel bestaat ook uit niet-invasieve determinanten die goed toepasbaar zijn bij topsporters. De gepresenteerde data van onze Olympische roeiers, (inter)nationale en Olympische wielrenners en (inter)nationale hockeyers kunnen tevens gebruikt worden als benchmark data. Het uitgebreide fysiologisch profiel kan daarnaast door de topsporter gebruikt worden om zijn sterke en zwakke punten in kaart te brengen ten aanzien van zijn sportspecifiek discipline, wat belangrijk is bij talentontwikkeling, het ontwerpen van geïndividualiseerde trainingsstrategieën en voor het monitoren van trainingsadaptaties. We rapporteerden spiervezeladaptaties als gevolg van een veelbelovende trainingsstrategie van het leven op hoogte en laag trainen gecombineerd met herhaalde sprinttraining in hypoxie of normoxie. Vervolgstudies die vergelijkbaar of andersoortige trainingsstrategieën onderzoeken (bijvoorbeeld concurrente duur- en krachttraining) kunnen geëvalueerd worden aan de hand van dit uitgebreide fysiologische profiel. Kortom, spiervezeleigenschappen zijn essentieel voor het leveren van de fysieke prestatie en kunnen illustreren waarom het zo lastig is om een goede sprint- en duurprestatie met elkaar te combineren. En dat is waarom "spieren er toe doen"!